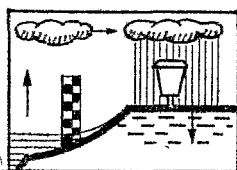


RÉPUBLIQUE DU TOGO
Ministère des Travaux Publics
Direction de l'Hydraulique

ETUDE HYDROLOGIQUE DE LA KOZA



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Centre O.R.S.T.O.M. de LOME (TOGO)

BUREAU CENTRAL HYDROLOGIQUE — PARIS



11 393

O.R.S.T.O.M

Centre de Lomé

Service Hydrologique

République du Togo

Ministère des Travaux Publics

Direction de l'Hydraulique

E T U D E H Y D R O L O G I Q U E

de la K O Z A

par

J. BOURGES

Chargé de Recherches à l'O.R.S.T.O.M

D8
BOU

22 AOUT 1972



J U I N 1 9 7 2

11393

S O M M A I R E

	Pages
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>1. LE BASSIN VERSANT</u>	2
<u>1.1. DESCRIPTION SOMMAIRE du BASSIN</u>	2
1.1.1. Situation générale	2
1.1.2. Relief	2
1.1.3. Caractéristiques géomorphologiques	2
1.1.4. Géologie et Pédologie	3
1.1.5. Végétation	3
<u>1.2. EQUIPEMENT du BASSIN</u>	4
<u>1.3. FACTEURS CLIMATIQUES</u>	4
<u>2. VOLUME INTERANNUEL et VOLUME GARANTI</u>	7
<u>2.1. ETUDE FREQUENTIELLE des PLUVIOMETRIES ANNUELLES à LAMA-KARA et à PAGOUDA</u>	7
<u>2.2. CORRELATIONS PLUVIOMETRIQUES</u>	9
<u>2.3. EVALUATION de 1^{re} ANNEE DEFICITAIRE</u>	9
<u>2.4. EVALUATION de 1^{re} ANNEE MOYENNE</u>	10
<u>2.5. ESTIMATIONS des COEFFICIENTS d'ÉCOULEMENT</u>	11
2.5.1. Similitude géographique et géomorphologique	11
2.5.2. Similitude pédologique	12
2.5.3. Similitude de végétation	12
2.5.4. Similitude de comportement hydrologique	12
2.5.5. Résultats des observations sur la SARA	14
2.5.6. Estimation des coefficients d'écoulement de la KOZA	15
<u>2.6. VOLUME MOYEN et VOLUME MINIMAL</u>	16
<u>3. CRUES EXCEPTIONNELLES</u>	17

	Pages
4. <u>EVAPORATION - TRANSPORTS SOLIDES - TRANSPORTS CHIMIQUES</u>	19
4.1. <u>EVAPORATION</u>	19
4.2. <u>TRANSPORTS SOLIDES en SUSPENSION</u>	20
4.3. <u>TRANSPORTS CHIMIQUES</u>	21
5. <u>CONCLUSION</u>	22

ANNEXE

I N T R O D U C T I O N

Parmi les diverses solutions envisagées pour pourvoir aux besoins en eau de LAMA-KARA (alimentation souterraine à partir de forage, prise d'eau sur la KARA), la plupart ont été éliminées soit pour raison technique, soit pour insécurité de l'approvisionnement. Les seules à avoir été retenues faisaient intervenir des barrages sur deux sites choisis sur la carte.

Après étude préliminaire et prospection sur place, l'un d'eux présentant de meilleurs avantages a été choisi : Distribution par gravité, proximité de l'agglomération et de zones à forte densité de population, largeur de l'ouvrage réduite.

Ce site se trouve au débouché dans la plaine d'un petit bassin drainant une partie du massif montagneux situé au Nord de LAMA-KARA, à 15 km à vol d'oiseau de cette ville. Le cours d'eau ainsi capté, la KOZA se jette dans la KPELOU, affluent de la KARA, elle même grand affluent de l'OTI.

Par lettre n° 1834 du 14 juillet 1971, le Ministre des Travaux Publics du Togo a commandé à l'ORSTOM l'étude hydrologique de cette petite rivière.

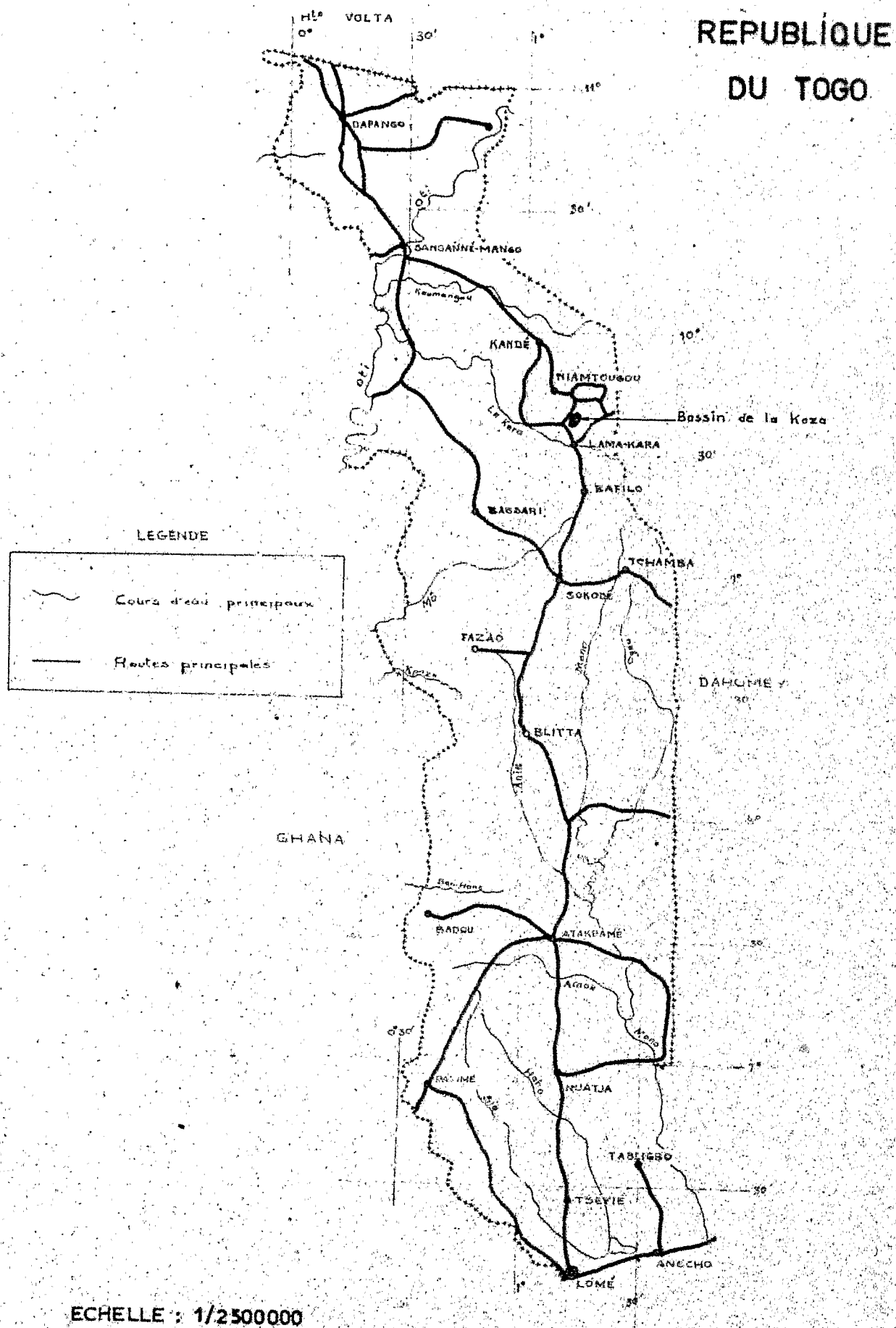
Etant donné sa finalité, nous avons orienté cette étude sur deux sujets :

- Volume moyen interannuel, et volume garanti,
- Crues exceptionnelles.

Quelques observations sur l'évaporation et sur les transports solides et chimiques font l'objet d'un dernier chapitre.

.../...

Fig: 1



1. LE BASSIN VERSANT

1.1. DESCRIPTION SOMMAIRE du BASSIN

1.1.1. Situation générale

Situé entre $9^{\circ} 37'$ et $9^{\circ} 41'$ de latitude Nord et $1^{\circ} 10'$ et $1^{\circ} 13'$ de longitude Est, sur le versant Nord d'un des massifs de la chaîne de l'ATAKORA, ce bassin est drainé par deux maringots qui confluent à proximité de la station principale par $9^{\circ} 41'02''$ N et $1^{\circ} 10'39''$ E, non loin de la route TCHITCHAO-KOUMEA (fig. 2).

1.1.2. Relief

Bordé par une frange de montagnes dont l'altitude varie entre 500 et 800 m, ce bassin se divise en deux sous-bassins adjacents de configuration similaire, séparés par une arête à relief assez mou, d'altitude modérée (500 m). Le point culminant et l'exutoire sont respectivement à 782 m et 375 m d'altitude. L'altitude moyenne est de 537 m (cf. fig. 3 - Carte hypsométrique).

1.1.3. Caractéristiques géomorphologiques

La superficie mesurée sur la carte au 1/50 000e et vérifiée sur photos aériennes au 1/20 000e donne $19,4 \text{ km}^2$ pour un périmètre de 19,2 km.

Le coefficient de compacité K_c est 1,22

Le rectangle équivalent a une longueur $L = 6,69 \text{ km}$

Fig. 2

Bassin Versant de la KOZA

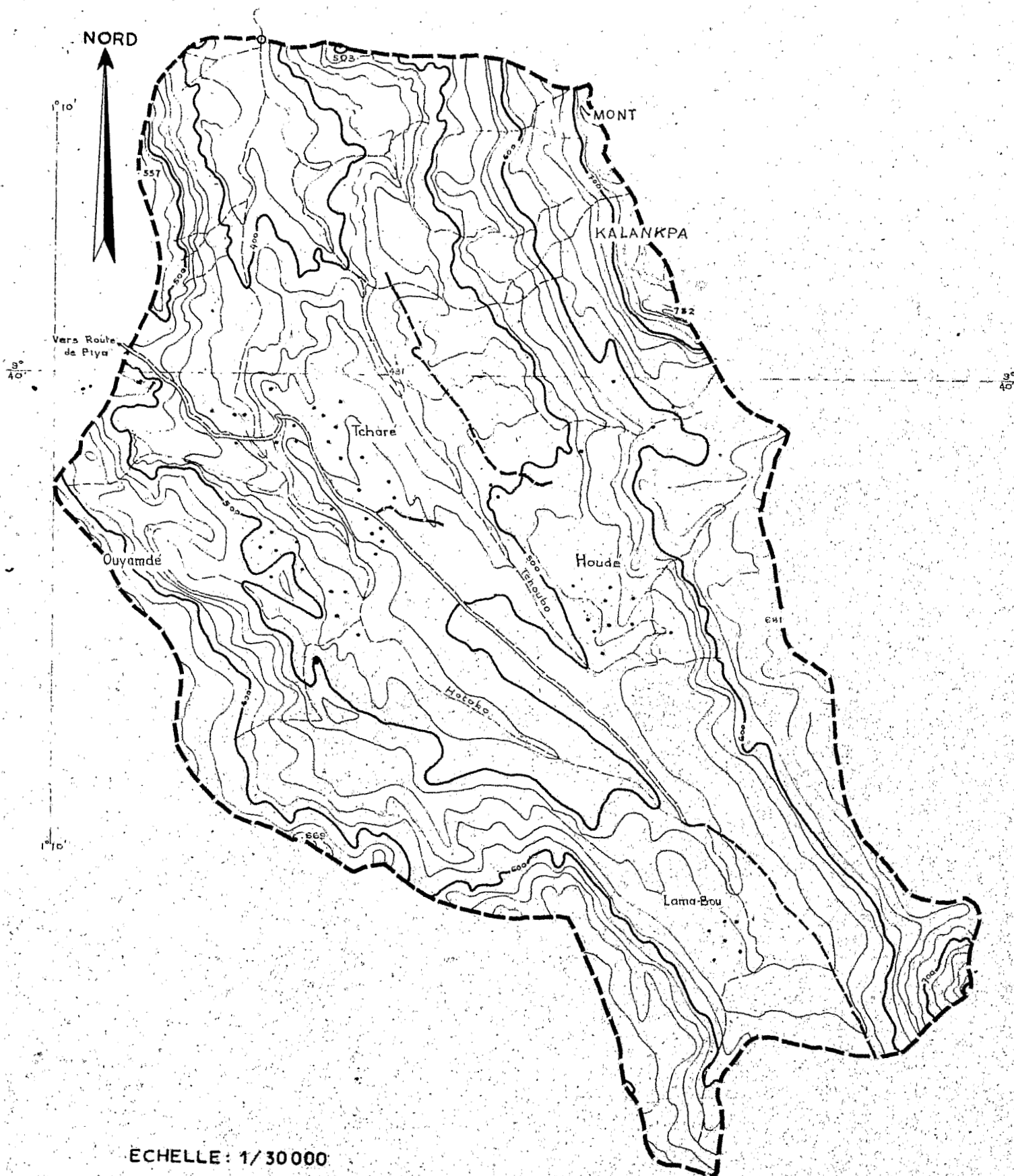
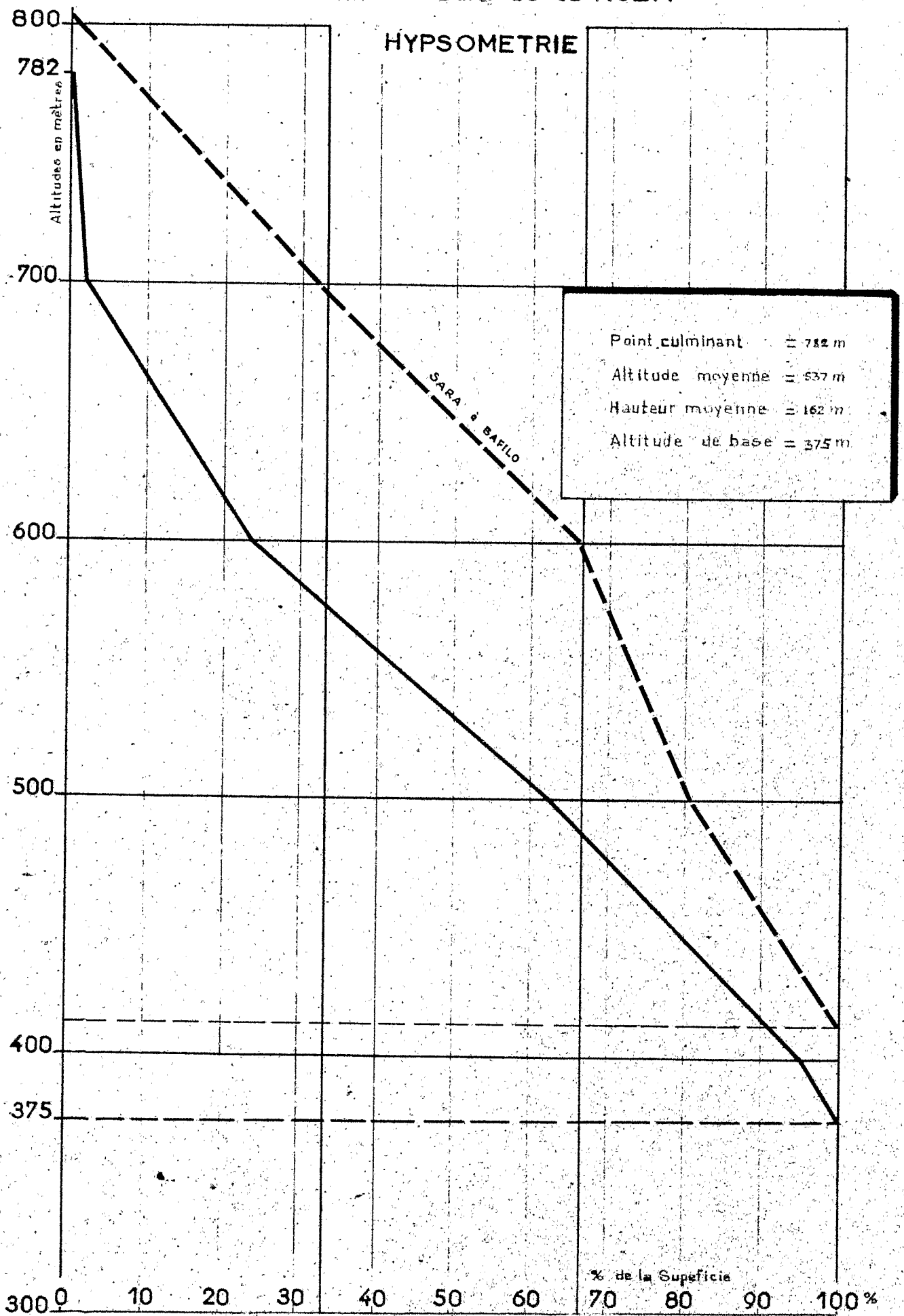


Fig.3

Bassin Versant de la KOZA



Le plus long cheminement possible pour une goutte d'eau est de l'ordre de 8 km pour atteindre la station de jaugeage avec une dénivelée : $D = 287$ mètres, qui se traduit par une pente du lit relativement régulière.

Le fond du lit est dans la majorité du parcours formé de blocs rocheux avec présence de quelques zones de repos à fond de gravier. C'est un bassin accidenté assimilable à la classe de relief R 5 :

$$I_g = 42,9 \text{ m/km}$$

$$I_p = 0,236$$

1.1.4. Géologie et Pédologie

L'assise géologique du massif est constituée en majorité de gneiss à amphiboles et de gneiss pyroxènes. A cela s'ajoutent d'autres faciès de gneiss : amphibolites, pyroxénolites, hornblendites, etc ...

Sur le plan pédologique, le bassin est formé d'une association de sols peu évolués d'érosion (lithosols), de sols ferrallitiques et fersiallitiques sur gneiss.

Cette altération d'épaisseur variable, très perméable en général, est le plus souvent d'ordre ferrallitique, ou pour le moins à sesquioxydes de fer libres.

1.1.5. Végétation

La savane arborée recouvre une grande partie du bassin. La densité d'arbres pratiquement nulle dans les régions hautes est relativement faible dans les fonds par suite de l'occupation des cultures. Près de la moitié de la superficie du bassin est cultivée (mil, haricot, igname, arachide).

1.2. EQUIPEMENT DU BASSIN

Les observations ont débuté le 21 juillet 1971 et ont été poursuivies de façon continue jusqu'au 15 octobre. Seules subsistent, à partir de cette date, les observations hydrométriques et pluviométriques.

Le bassin est équipé de huit pluviomètres "Association", d'un totaliseur, d'un pluviographe situé au centre du bassin sur l'arête qui sépare les deux sous-bassins, ainsi que d'une station météo avec bac d'évaporation ORSTOM, thermomètre maxima, thermomètre minima, psychromètre et anémomètre totalisateur (cf. fig. 4).

La station hydrométrique comporte une section de jaugeage contrôlée par une échelle limnimétrique, et une section légèrement plus en aval observée par un limnigraphe à rotation journalière.

Les lectures ont été bi-quotidiennes durant la période de mesures, et quotidiennes après le départ des agents techniques. Le limnigraphe a été remplacé par un enregistreur longue durée pour observer la saison sèche.

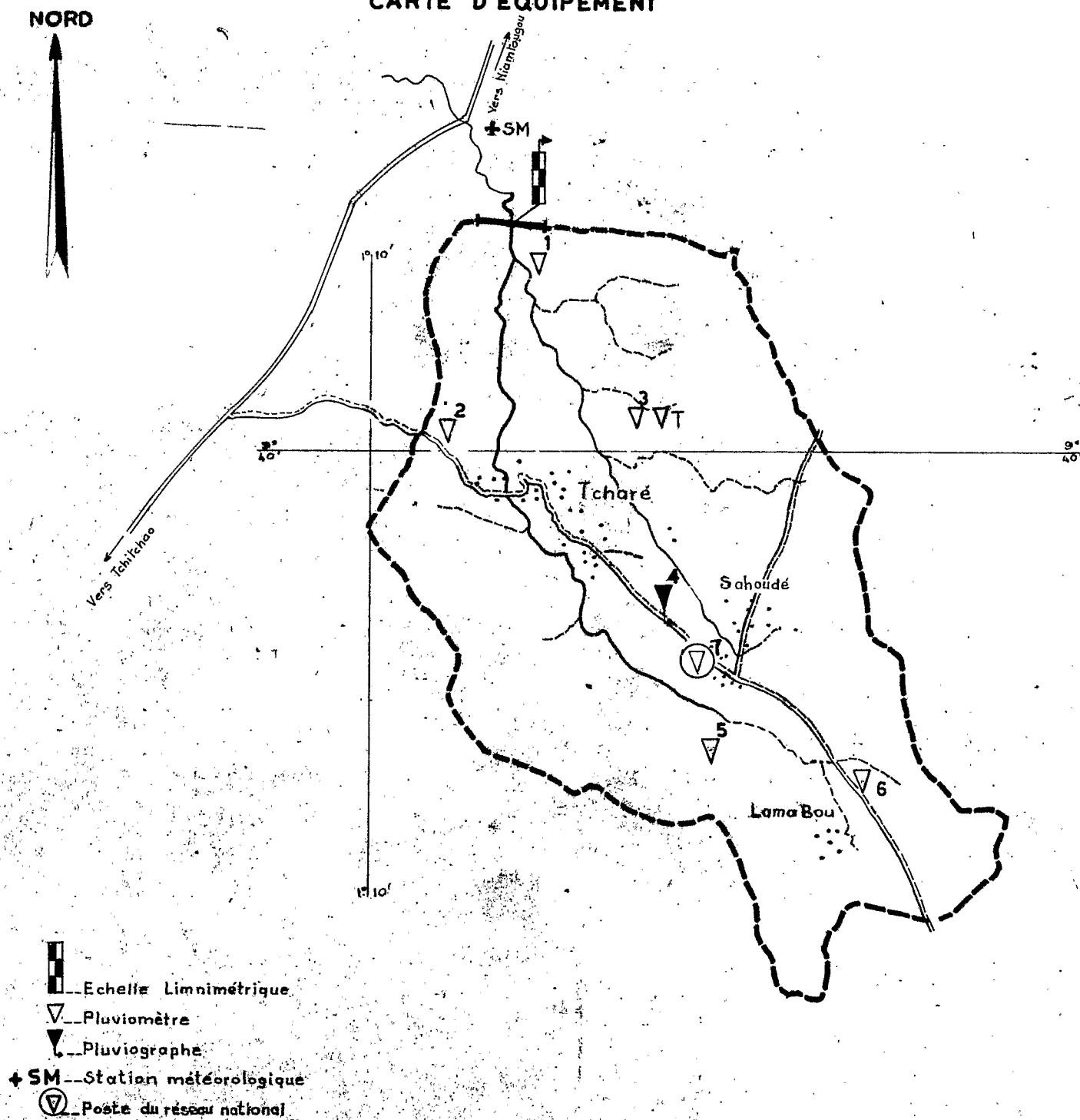
1.3. FACTEURS CLIMATIQUES

La région de LAMA-KARA est sous l'influence du climat tropical de transition pluvieux avec une variante d'altitude pour la zone de TCHARE : la saison des pluies s'étend de mai à octobre.

Durant la courte période d'étude du bassin, nous avons procédé à des observations météorologiques sur les températures, l'humidité relative, l'évaporation et la ventilation. Pour les mois de juillet et octobre, ces observations sont incomplètes puisqu'elles ne couvrent que du 20 au 30 juillet et du 1er au 15 octobre.

Bassin Versant de la KOZA

CARTE D'EQUIPEMENT



ECHELLE: 1/50.000

Températures

Heure des relevés	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Moyenne
6 h 00	21° 7	22° 2	20° 9	21° 6	21° 3
12 h 00	25° 3	25° 9	27° 7	30° 0	27° 2
18 h 00	25° 3	24° 0	24° 7	26° 3	25° 0
Moyenne	24° 1	23° 7	24° 4	25° 9	24° 5

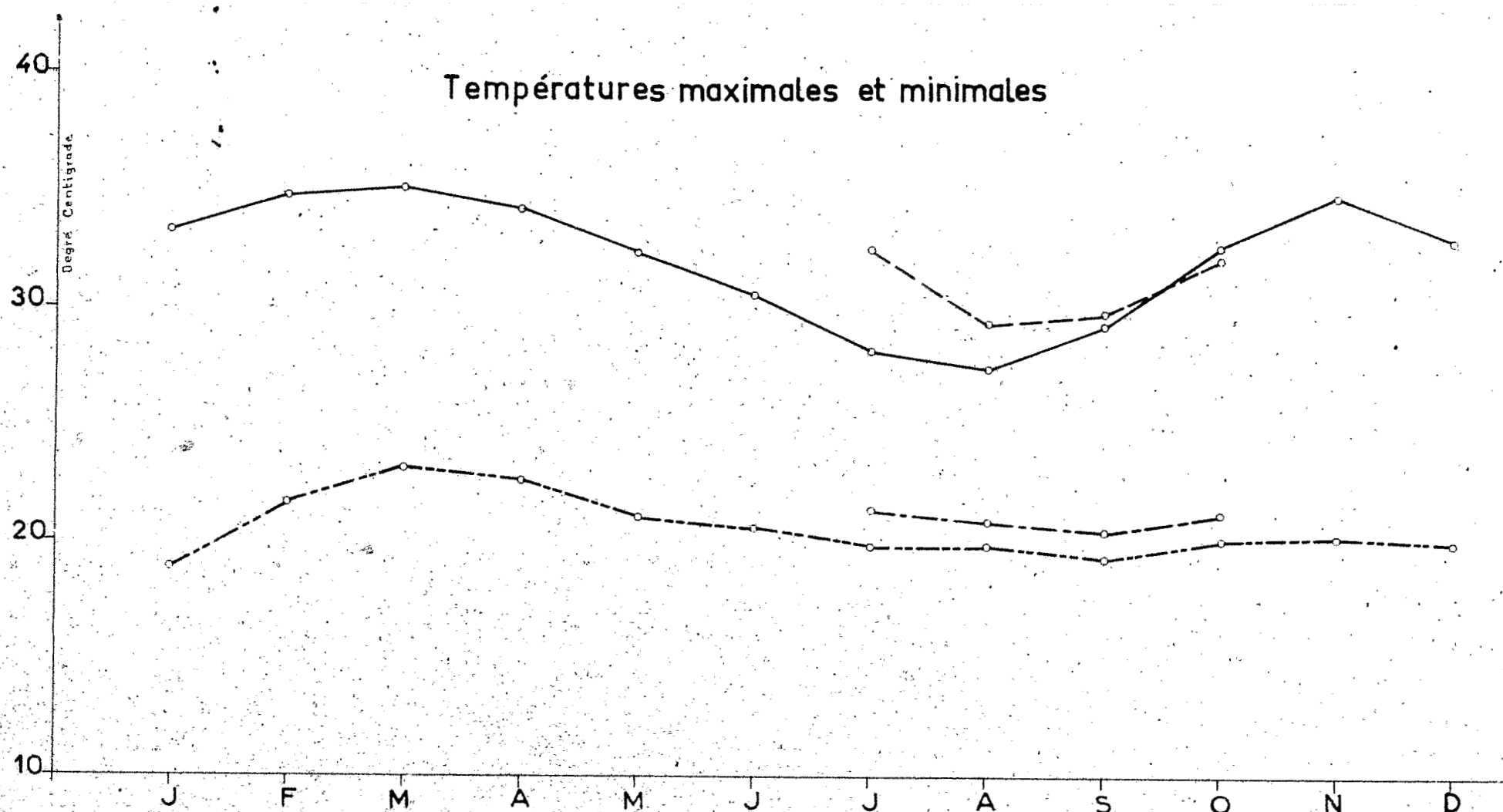
Températures minimales et maximales

	Juil.	Août	Sept.	Oct.
min.	21° 4	20° 9	20° 4	21° 2
max.	32° 6	29° 3	29° 8	32° 0

Humidité relative

	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Moyenne
6 h 00	93,8	95,5	95,9	94,3	94,8
12 h 00	77,6	76,0	69,3	62,8	71,4
18 h 00	79,1	85,8	82,6	79,7	81,8

Températures maximales et minimales



NIAMTCUGCU

————

Maximales

Minimales

KPAQAYO

————

Maximales

Minimales

Vitesse moyenne du vent

	Juil.	Août	Sept.	Oct.
Nuit		0,315	0,146	0,079
Jour	non observé	1,252	0,495	0,323
24 h 00		0,773	0,308	0,188

Ces observations par leur brièveté ne permettent pas de tirer des conclusions immédiates, mais leur comparaison aux résultats de NIAMTOUGOU, station météorologique permanente du service national, justifie le choix de ce poste comme référence (cf. graphique 5).

2. VOLUME INTERANNUUEL ET VOLUME GARANTI

Par suite du nombre très restreint d'observations directes sur le bassin, nous sommes amenés à procéder par étude comparative avec d'autres bassins de même type, observés sur une période plus longue. Cette étude se fera à partir d'un examen des pluviométries annuelles sur le bassin de la KOZA, à SAHOUE, et à deux autres postes pluviométriques observés depuis plus de trente ans : LAMA-KARA et PAGOUDA.

2.1. ETUDE FREQUENTIELLE DES PLUVIOMETRIES ANNUELLES à LAMA-KARA et à PAGOUDA

Ajustement à une loi statistique

Deux lois peuvent représenter la répartition statistique des pluviométries annuelles dans cette région. La loi normale et la loi de GALTON (gausso-logarithmique). Dans le cas présent, la première figure mieux le phénomène.

Nous avons choisi comme station de référence le poste de LAMA-KARA observé depuis 1938, situé à proximité géographique du bassin (15 km) et sous le vent dominant, ce qui explique sa très bonne corrélation avec SAHOUE. L'autre poste choisi : PAGOUDA, observé depuis 1934, bien que plus éloigné et moins bien placé par rapport aux vents, est plus représentatif du régime d'altitude.

A partir des totaux annuels rassemblés sur le tableau 1, nous déterminons les paramètres de la loi d'ajustement d'où nous pourrions tirer les valeurs des hauteurs annuelles de fréquence donnée (Fig. 6 et 7).

Pour la station de LAMA-KARA, on obtient :

- Pluie moyenne	1301 mm
- Ecart type	171,5 mm
- Coefficient de variation	0,132

Fig. 6

Distribution des pluies annuelles à Lama-Kara

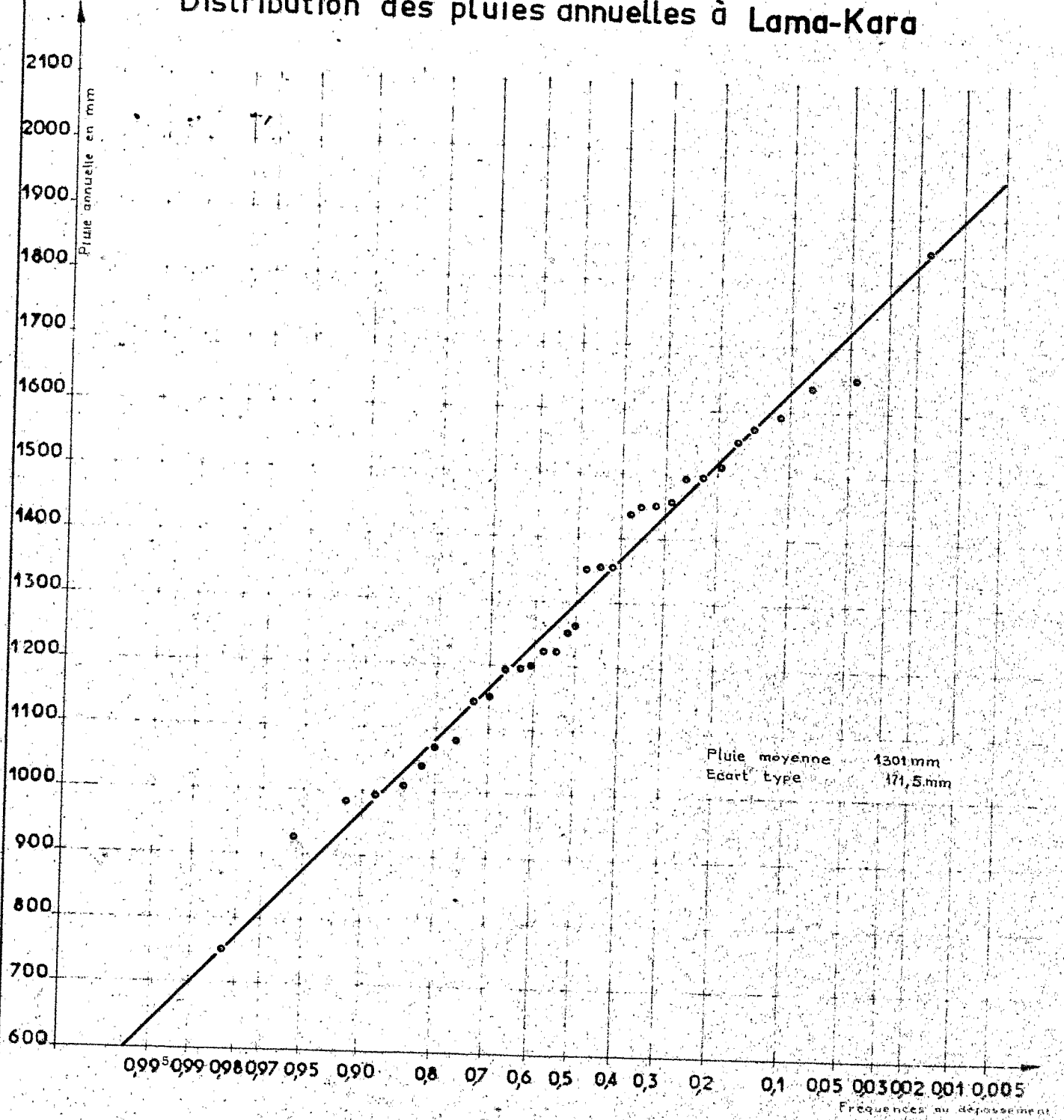
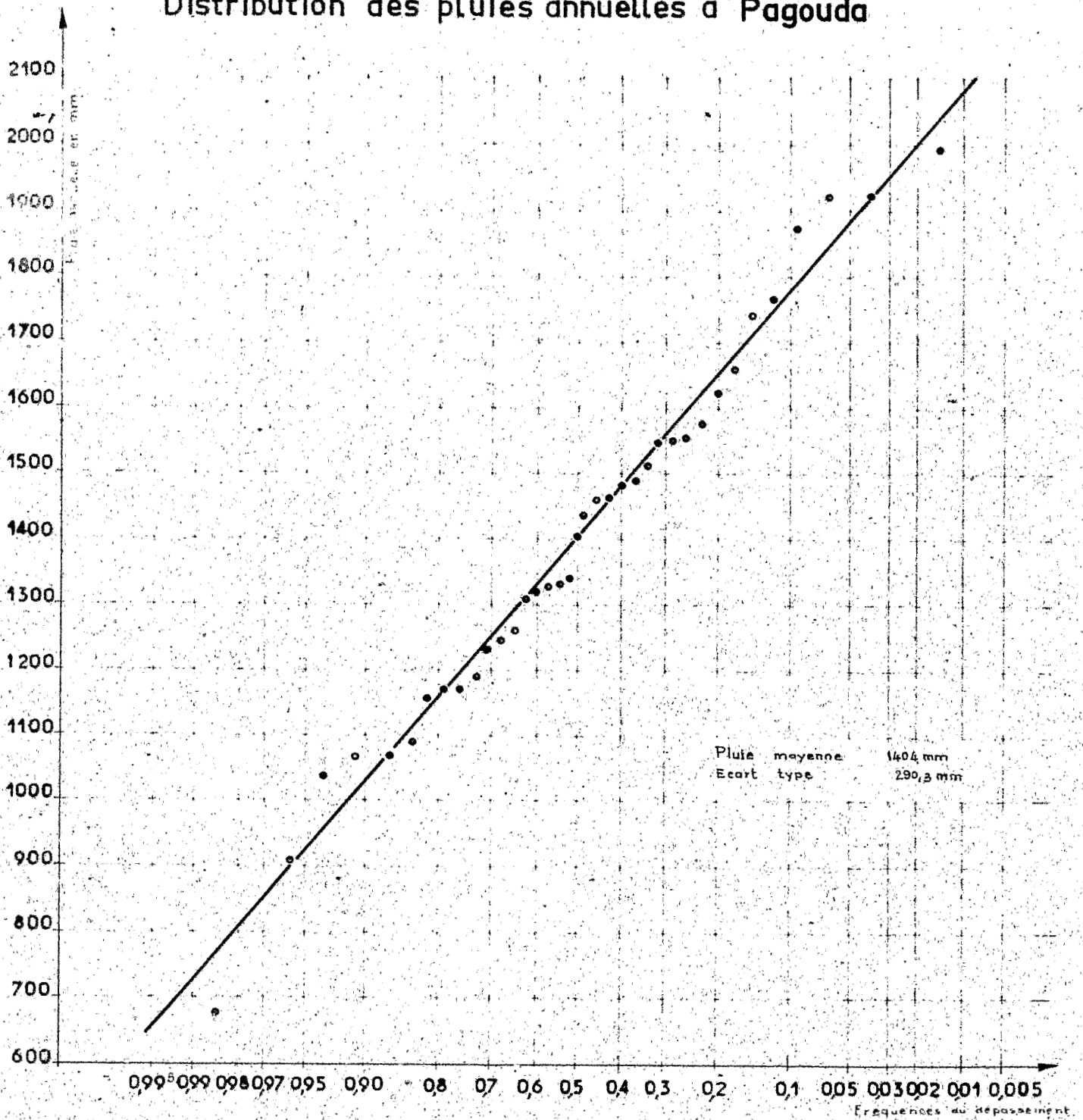


Fig. 7

Distribution des pluies annuelles à Pagouda



Et pour PAGOUDA :

- Pluie moyenne 1404 mm
 - Ecart - type 290,3 mm
 - Coefficient de variation 0,209

TABEAU 1

Précipitations : Totaux annuels et moyennes interannuelles en mm,
 aux stations étudiées

Année	LAMA-KARA	PAGOUDA	SAHOUE
1970	1146	1193	1286
1969	1553	1407	1476
1968	1353	1307	1419
1967	1195	1484	1307
1966	1448	1319	1452
1965	1076	679	1629
1964	1069	1994	1446
1963	1846	1921	1980
1962	1453	1739	1660
1961	1140	1232	1209
1960	1439	1508	1487
1959	1267	1624	1330
1958	928	1071	(622)
1957	1359	1875	1835
1956	1202	1186	
1955	1593	1596	
1954	1011	1263	
1953	1637	1554	
1952	1449	1461	
1951	1630	1916	
1950	756	1161	
1949	1509	1762	
1948	1399	1436	
1947	1490	1246	
1946	997	1038	
1945	986	1328	
1944	1490	1073	
1943	1249	1326	
1942	1195	909	
1941	1226	1468	
1940	1042	1548	
1939	1573	1571	
1938	1226	1185	
1937		1339	
1936		1491	
1935		1093	
1934		1658	
Moyenne	1301	1404	1501

Les valeurs de l'écart-type et du coefficient de variation confirment la validité de l'ajustement gaussique à ces deux stations particulièrement pour LAMA-KARA.

On en déduit les pluies de fréquence centenaire en année sèche.

LAMA-KARA 700 mm

PAGOUDA 730 mm

2.2. CORRELATIONS PLUVIOMETRIQUES

annuelles LAMA-KARA-Sahoudé et PAGOUDA-Sahoudé

Au centre du bassin est implanté depuis 1957, un poste d'observation pluviométrique du réseau ASECNA : SAHOUE. L'année 1958 étant incomplète nous disposons seulement de treize années pour établir ces corrélations, ce qui pourrait restreindre leur validité si la proximité des différents postes ne nous donnait de très bons coefficients. (Fig. 8 et 9).

SAHOUE -- LAMA-KARA : $r = 0,991$

SAHOUE -- PAGOUDA : $r = 0,975$.

2.3. EVALUATION de l'ANNEE DEFICITAIRE

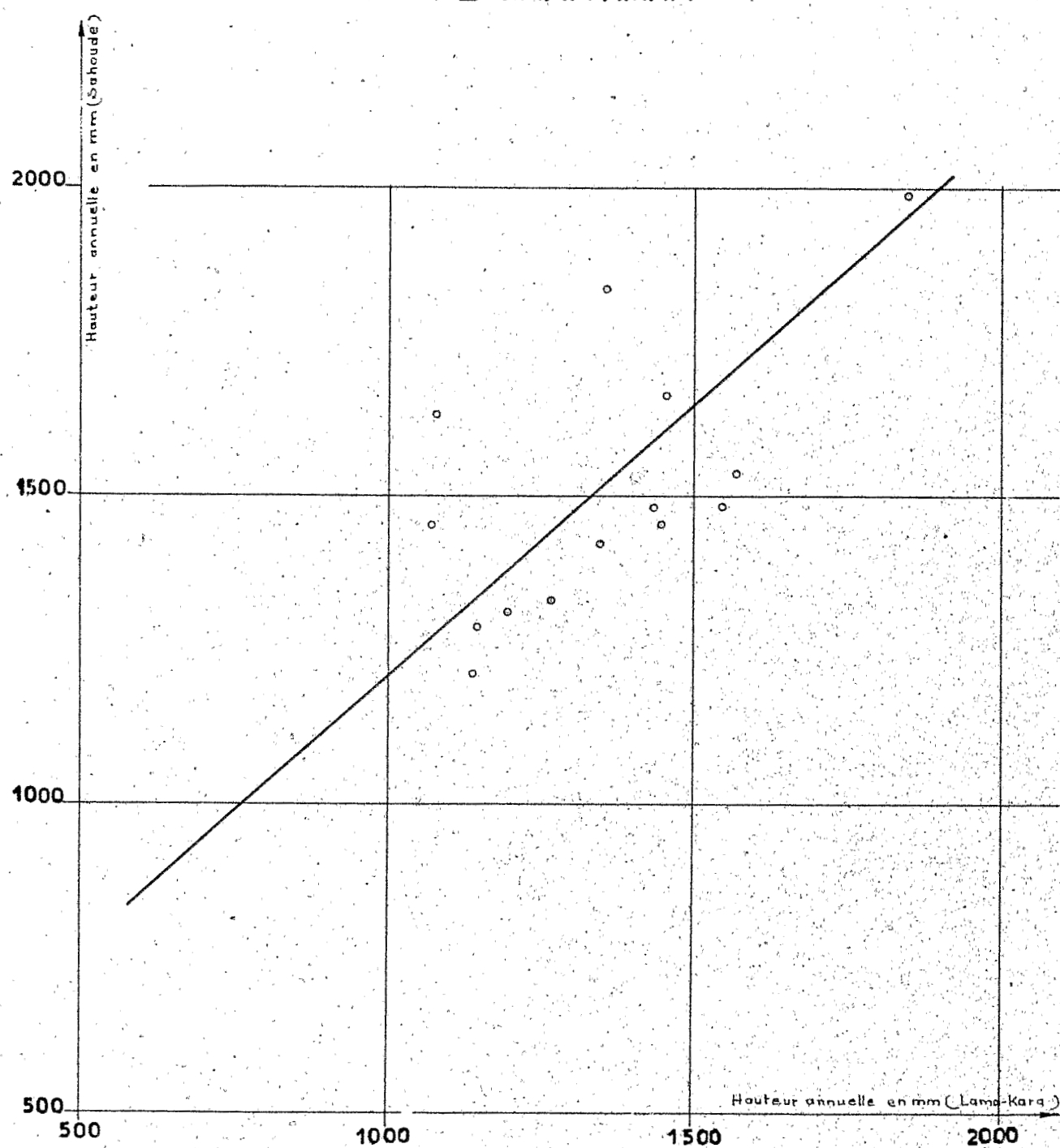
de fréquence centenaire à SAHOUE.

A partir des hauteurs centenaires déjà déterminées aux deux stations longue durée, par corrélation, on en déduit les hauteurs centenaires correspondantes à SAHOUE.

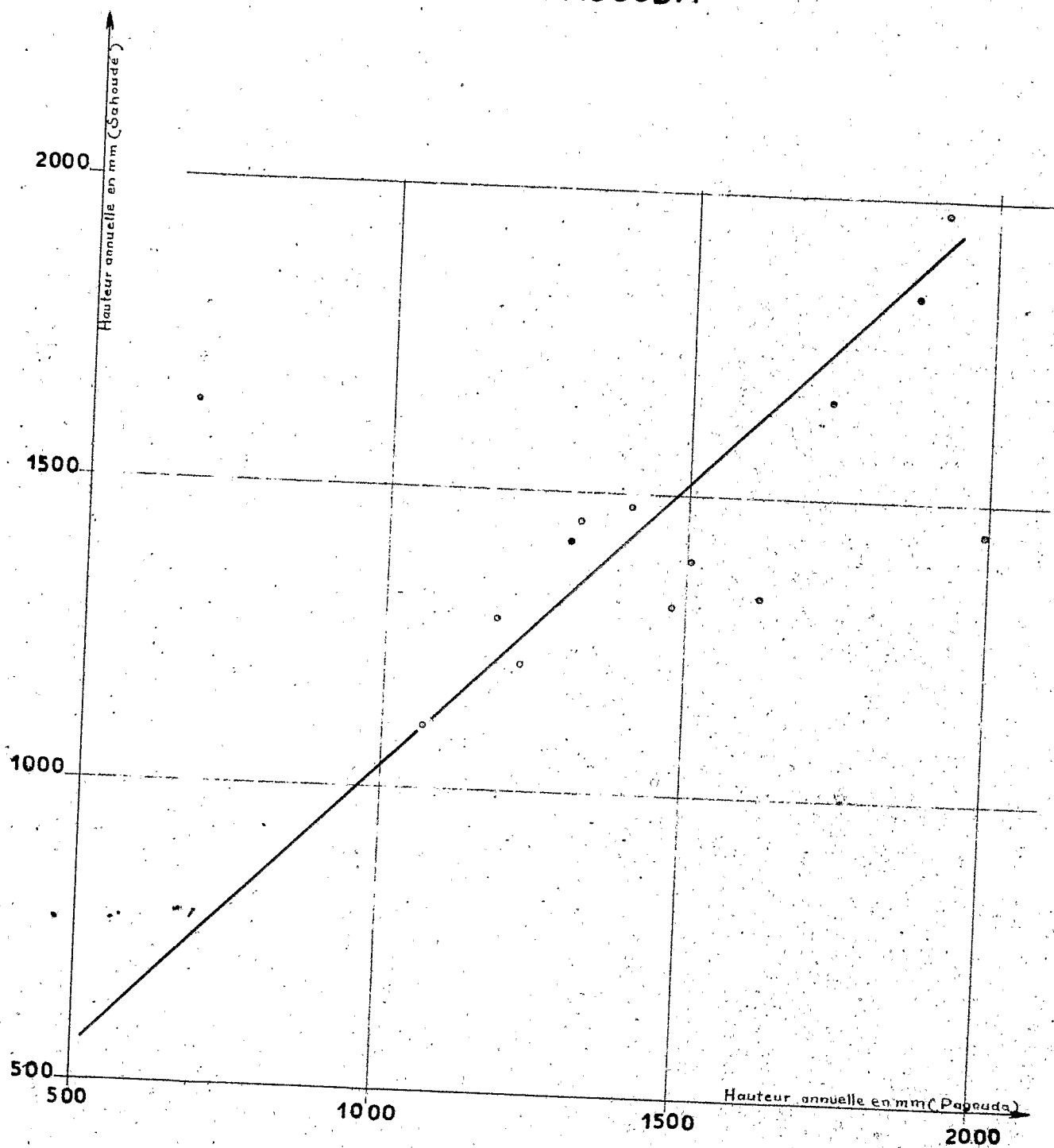
885 mm par LAMA-KARA

775 mm par PAGOUDA.

CORRELATION PLUVIOMETRIQUE SAHOUE-LAMA-KARA



CORRELATION PLUVIOMETRIQUE SAHOUE-PAGOUDA



L'influence de LAMA-KARA étant prépondérante et la corrélation meilleure, nous choisirons pour hauteur centenaire à SAHOUE : 850 mm.

2.4. EVALUATION de l'ANNEE MOYENNE

Le même raisonnement appliqué aux moyennes interannuelles nous donne :

1425 mm par PAGOUDA

1470 mm par LAMA-KARA.

Si on considère la moyenne interannuelles des treize années observées à SAHOUE, 1501 mm, il apparaît par comparaison aux autres stations que ces années sont dans l'ensemble plus humides que les années précédentes.

	LAMA-KARA	PAGOUDA	SAHOUE
Moyenne de 1957 à 1970 en millimètres	1334	1483	1501
Moyenne sur toute la période d'observation en millimètres	1301	1404	-

Nous prendrons donc pour précipitation annuelle à SAHOUE, en année moyenne, 1450 mm.

2.5. ESTIMATIONS des COEFFICIENTS d'ÉCOULEMENT

La période d'observation directe étant trop brève pour en tirer une approximation du coefficient de ruissellement, nous allons procéder par étude comparative.

Parmi les bassins étudiés dans cette région, celui de la SARA à BAFILO est le plus apte à être comparé à celui de la KOZA et possède en outre l'avantage d'avoir été observé en 1958, année particulièrement déficitaire sur tout le TOGO.

2.5.1. Similitude géographique et géomorphologique

La simple comparaison des paramètres géomorphologiques et des courbes hypsométriques (voir fig.3) démontre l'identité physique de ces deux bassins distants d'à peine trente kilomètres.

	K O Z A	S A R A
Situation	9°41' N 1°10' E	9°29' N 1°17' E
Superficie	19,4 km ²	30 km ²
Altitude moyenne	537 m	637 m
Coefficient de compacité	1,22	1,24
Indice de pente global	42,9 m/km	40 m/km
Indice de pente	0,236	0,209

2.5.2. Similitude Pédologique

Sur les deux sites l'horizon de surface, déterminant par le ruissellement, est constitué de sols peu évolués d'érosion (lithosols).

Le socle, bien que de nature différente puisqu'il est composé de quartzites associés à des sols minéraux bruts sur la SARA, et de gneiss plus ou moins riches en pyroxènes sur la KOZA, a un comportement hydrologique sensiblement identique qui lui confère un rôle de réservoir expliquant les témoignages des villageois selon lesquels le marigot ne s'est jamais tari.

2.5.3. Similitude de Végétation

La savane arborée qui recouvre 95% de la surface de la SARA cède en partie la place aux cultures dans les bas-fonds de la KOZA. Cette différence peut modifier le comportement à court terme du bassin, particulièrement son temps de réponse, mais n'influe guère sur le coefficient annuel d'écoulement.

2.5.4. Similitude de Comportement Hydrologique

Pour l'étudier, nous allons comparer les réactions des deux bassins à des épisodes pluvieux de même consistance, leur état initial étant sensiblement identique. Nous choisirons plusieurs périodes selon la durée et la saison :

- En période de forte pluviométrie.

	K O Z A	S A R A
Période	Août 1971	Août 1957
Total mensuel	298 mm	271 mm
Nombre de jours de pluie	21	19
Total des 10 jours précédents	128 mm	72 mm
Coefficient d'écoulement	62,5 %	61 %

- En période sèche

	K O Z A	S A R A
Période	Oct. 1971	Oct. 1958
Total mensuel	35,7 mm	34,1 mm
Nombre de jours de pluie	5	5
Total des 15 jours précédents	100 mm	125 mm
Coefficient d'écoulement	(107 %)	86 %

- Sur une longue période

	K O Z A	S A R A
Période	21/7 au 30/11 1971	21/7 au 30/11 1957
Précipitation	705 mm	894 mm
Coefficient d'écoul.	58 %	68 %

2.5.5. Résultats des Observations sur la SARA

Ce bassin a été observé pendant deux ans, en 1957 à partir du début Juillet et en 1958, toute l'année. Les dépouillements font ressortir les coefficients d'écoulement suivants :

- 1957 $K_e = 77 \%$
- 1958 $K_e = 31 \%$

Une telle différence entre ces valeurs appelle un examen des précipitations annuelles. Le tableau ci-après, en reprenant les hauteurs aux deux stations référence de la KOZA et à celle de la SARA, ALEDJO-KPEWA, pendant les deux années d'observation fait apparaître le caractère exceptionnellement sec de l'année 1958 et celui particulièrement pluvieux de l'année 1957.

	1 9 5 7			1 9 5 8		
	Hauteur annuelle	Fréquence de dépassement	Moyenne interannuelle	Hauteur annuelle	Fréquence de dépassement	
LAMA-KARA	1359	0,42	1301	927	0,954	
PAGOUDA	1875	0,06	1404	1071	0,88	
ALEDJO-KPEWA	1809	0,14	1550	893	0,995	

La période de retour de 1958 à ALEDJO, station très proche du bassin, est de deux cents ans et celle de 1957 de sept ans.

On peut donc considérer les coefficients d'écoulement de ces deux années comme représentatifs d'une année très sèche et d'une année humide.

2.5.6. Estimation des coefficients d'écoulement de la KOZA

- En année déficitaire de fréquence centenaire

En fonction des résultats précédents, et pour tenir compte d'une année exceptionnellement sèche, nous prendrons :

$$K_e = 15 \%$$

- En année normale.

Le tableau ci-après donne le bilan hydrologique mensuel et annuel pour 1971 :

	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total de Juillet à Décembre 1971
Volume précipité 10^3 m^3	2.485	5.783	4.718	692	0	291	13.970
Volume écoulé 10^3 m^3	1.178	3.611	2.343	615	124	68	7.939
Déficit 10^3 m^3	1.307	2.172	2.375	78	-	223	6.032
$K_e \%$	47	62	50	89	-	24	57

L'année 1971 se présente à SAHOUE comme légèrement excédentaire : 1552 mm pour une moyenne interannuelle de 1501 mm.

Le coefficient d'écoulement correspondant à la période du 21 Juillet au 31 Décembre est :

$$K_e = 57 \%$$

avec un volume écoulé de 8.10^6 m^3 .

Nous ne possédons aucun élément sur la période du 1er Janvier au 21 Juillet, cependant il est permis de penser qu'elle ne peut modifier de façon importante cette valeur du coefficient d'écoulement.

La saison sèche (Janvier, Février, Mars) aurait plutôt tendance à accroître K_e (Alimentation par nappe avec peu ou pas de précipitation), alors que les premiers mois de la saison des pluies pourraient le diminuer.

En 1957, année particulièrement humide sur la SARA (1809 mm pour une moyenne de 1550, Fréquence de dépassement 0,14 à ALEDJO), nous avons obtenu de Juillet à Décembre $K_e = 77 \%$.

Nous choisirons donc, comme représentatif d'une année normale :

$$K_e = 45 \%$$

2.6. VOLUME MOYEN ET VOLUME MINIMAL :

Pour une superficie de $19,4 \text{ km}^2$, nous avons :

année exceptionnellement sèche	$H = 850 \text{ mm}$
	$K_e = 15 \%$
année moyenne	$H = 1450 \text{ mm}$
	$K_e = 45 \%$

qui donne les volumes d'apports suivants :

:	:
: Volume garanti :	$2,5.10^6 \text{ m}^3$:
: Volume moyen :	$12,7.10^6 \text{ m}^3$:
:	:

3. CRUES EXCEPTIONNELLES

Bien que la courbe de tarage ait été définie jusqu'aux plus hautes côtes atteintes cette année, nous ne pouvons en déduire par extrapolation la valeur des crues de fréquence rare. A priori, il est permis de penser à l'examen de certaines caractéristiques du bassin (son relief, son sol et sa couverture végétale) que les temps de réponse seront courts et les maximums d'autant plus forts. (fig. 10).

En 1971, le débit maximum atteint est $24 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une pluie de 58 mm bien répartie sur le bassin. Cette hauteur journalière n'a rien d'exceptionnel. A IAMA-KARA, la précipitation journalière de fréquence annuelle est estimée à 67 mm (Estimation des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale par Y. BRUNET - MORET).

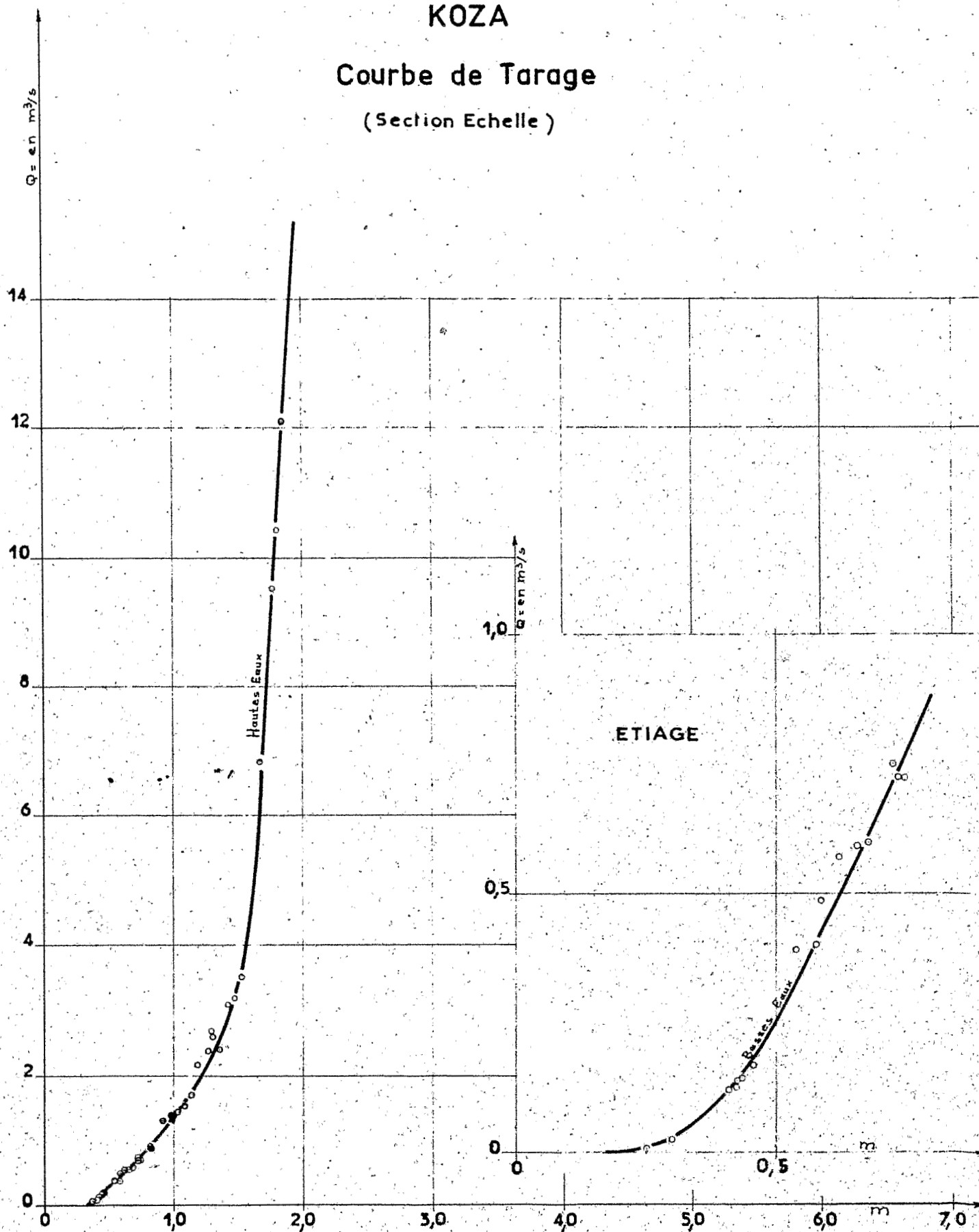
Par recoupements et enquête auprès des villageois, nous avons trouvé la trace d'une très forte crue qui avait submergé le pont de la route TCHITCHAO - KOUMEA (Voir Fig. 4) à la fin de sa construction, le même jour où la culée Rive Gauche du pont de IAMA-KARA a été emportée. C'était le 31 Août 1951. Située à un kilomètre en aval de la station cette section draine un bassin de 25 Km^2 .

D'après les renseignements recueillis à différentes sources, nous avons pu estimer la cote maximale de cette crue à 680 à l'échelle. Par suite de la différence très marquée entre les lits majeur et mineur, on ne peut rien déduire des mesures effectuées cette année. L'écoulement dans le lit majeur fortement freiné par la végétation, pour la cote maximale de 228, correspond à une vitesse moyenne de $0,5 \text{ m/s}$. Aux cotes supérieures, l'effet de freinage ne se fait plus sentir et la vitesse peut être bien supérieure.

KOZA

Courbe de Tarage

(Section Echelle)



Les relevés des profils en travers aux deux sections de la rivière où nous connaissons la cote de 1951, donnent des surfaces mouillées de 525 m^2 au droit du pont, et 592 m^2 à la station de jaugeage.

Une approximation de la vitesse par la formule de Manning à partir de la pente entre ces deux sections est à écarter par suite des nombreuses ruptures de pentes sur seuils rocheux.

Cependant il paraît probable qu'au droit du pont on devait avoir des vitesses de l'ordre du mètre par seconde ce qui conduit à un débit de 500 à $600 \text{ m}^3/\text{s}$, soit de 20 à $25 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Pour connaître la fréquence de retour de cette crue très exceptionnelle, il suffit de se reporter aux précipitations du 31 Août 1951 à LAMA-KARA.

30 Août de 9h.30 à 15h.30 = 94,9 mm

31 Août de 3h.00 à 8h.00 = 140,0 mm.

Chacune de ces averses prises séparément est déjà exceptionnelle : 95 mm correspond à l'averse décennale et 140 mm à l'averse centenaire.

Mais l'action conjuguée de ces deux précipitations est encore plus rare puisqu'elle correspond à une hauteur de 240 mm en 24h.00, dont la période de retour pourrait être estimée à environ dix mille ans à partir d'une extrapolation très large des courbes de Y. BRUNET-MORET.

En ce qui concerne la crue centenaire, compte tenu des estimations précédentes, étant donné la classification du bassin (R 5) d'après ses caractéristiques, et en fonction des observations sur d'autres sites, on peut estimer son débit spécifique à $13 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, soit une crue de l'ordre de $250 \text{ m}^3/\text{s}$.

4. EVAPORATION - TRANSPORTS SOLIDES - TRANSPORTS CHIMIQUES

4.1. EVAPORATION

Le tableau ci-dessous résume les résultats des mesures effectuées sur la station météo à un kilomètre du site du barrage.

Période	Bac Colorado		Evaporation Piche		$R^* = \frac{\text{Evapor. Piche}}{\text{Evapor. Colorado}}$
	Hauteur mm	mm/J	Hauteur mm	mm/J	
Juillet *	12,5	2,5	9,9	1,6	0,64
Août	75,1	2,5	48,9	1,5	0,60
Septembre	73,3	2,5	51,6	1,7	0,68
Octobre *	56,3	3,75	36,2	2,4	0,64
Du 16 Octobre					
au 2 Décembre	274	5,7	-	-	-
Total	491,2		146,6		

(*)Juillet : du 26 au 31

(*)Octobre : du 1 au 15

De façon à compléter ces observations, nous prendrons les résultats relevés à NIAMTOUGOU dont l'altitude bien que supérieure et donc moins favorable à l'évaporation est compensée par sa situation sur un plateau très venté. Une comparaison des mesures relevées pendant la même période sur les deux sites permet de justifier la référence (cf. Fig. 11).

EVAPORATION PICHE

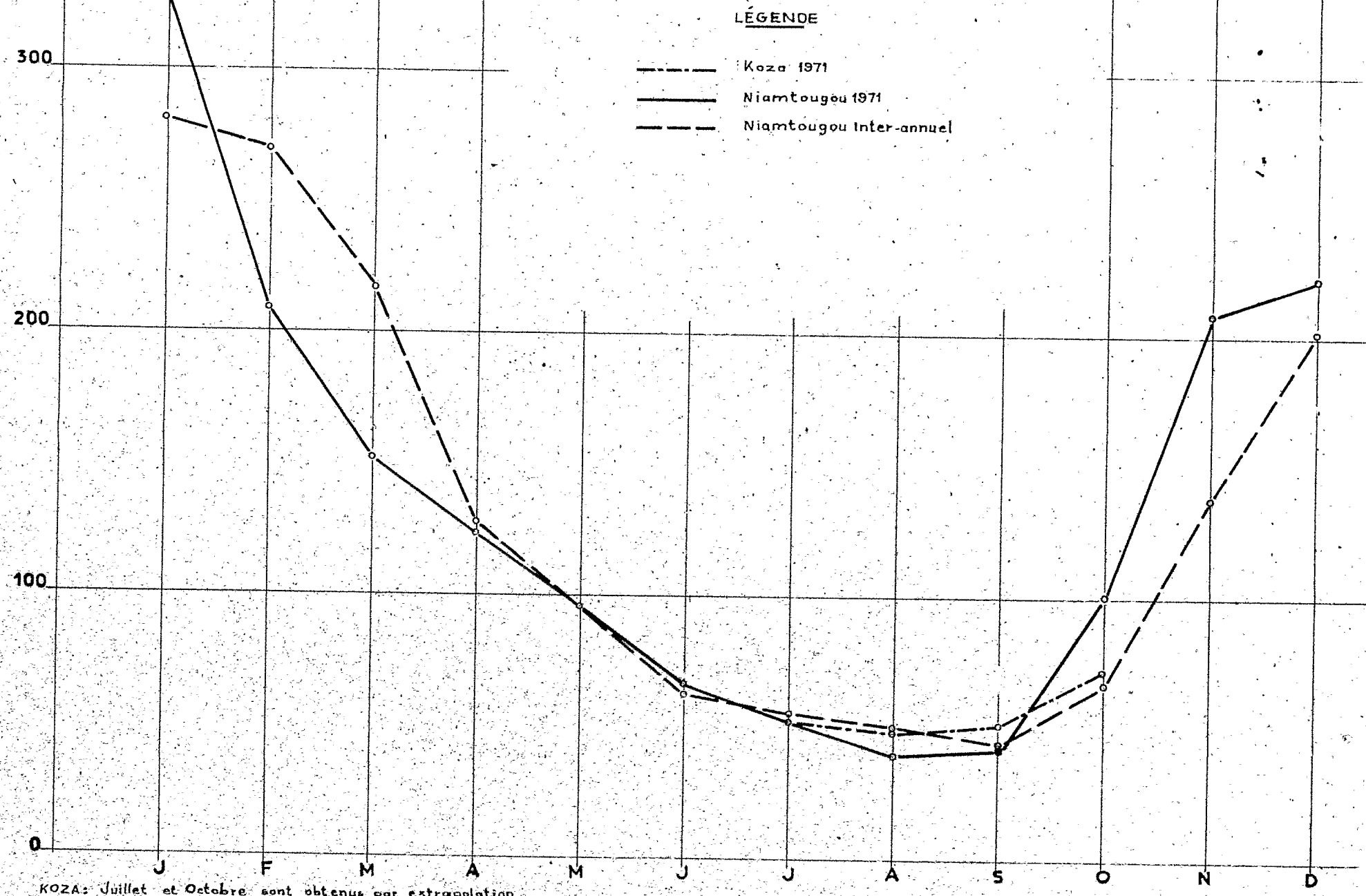


Fig. 11

La moyenne interannuelle de l'évaporation Piche à NIAMTOUGOU de 1956 à 1968 est de 1612 mm.

Or, d'après l'étude de l'évaporation au TOGO effectuée par J. COLOMBANI, on peut estimer pour cet emplacement le coefficient moyen annuel R' à 0,94.

$$R' = \frac{\text{Evaporation Piche}}{\text{Evaporation Colorado}} = 0,94$$

et donc une hauteur annuelle évaporée au Bac Colorado

$$H' = 1700 \text{ mm}$$

Sur le bassin nous avons obtenu en saison des pluies, du 20 Juillet au 9 Décembre, 490 millimètres.

4.2. TRANSPORTS SOLIDES EN SUSPENSION

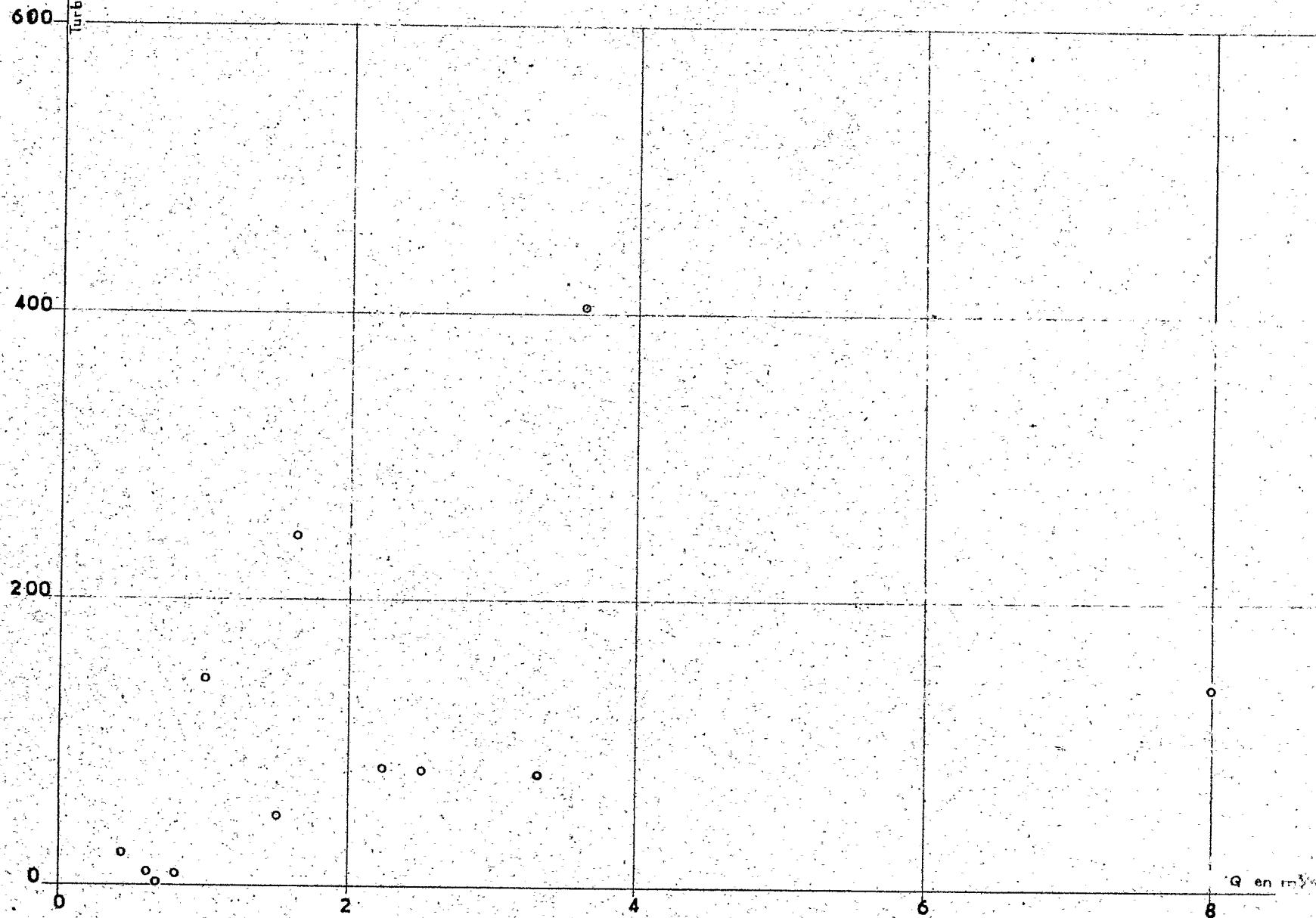
Les quelques prélèvements effectués au cours de la campagne ne permettent pas de déduire avec précision le volume de matériaux transportés par suspension.

Sur le graphique (Fig.12), nous avons porté les taux de turbidité en fonction du débit. Les écarts entre les points peuvent s'expliquer par les différences de configuration des averses dans leur intensité ou leur répartition. Ainsi une intensité maximale de 60 mm/h pendant 25 minutes va provoquer un débit solide de 140 g/m^3 pour $8 \text{ m}^3/\text{s}$, tandis qu'une intensité double pendant un temps moitié donne 410 g/m^3 pour $3,65 \text{ m}^3/\text{s}$. Et cela malgré une hauteur totale de précipitation plus que double dans le premier cas. L'état de la végétation, malgré une légère diminution du taux de turbidité au cours de la saison, ne modifie pas sensiblement ces valeurs.

En résumé, durant la saison des pluies, la turbidité varie de 100 à 400 g/m^3 pendant les fortes crues, de 20 à 100 g/m^3 pendant les crues moyennes, et se maintient entre 10 et 20 g/m^3 en régime normal.

KOZA : 1971

TRANSPORT SOLIDE EN SUSPENSION



4.3. TRANSPORTS CHIMIQUES

Parallèlement aux mesures de débits solides ont été effectuées quelques mesures de qualité chimique de l'eau.

Il est difficile de déduire les lois de variation des différents éléments chimiques en solution dans l'eau sur onze prélèvements. Cependant on observe que les taux de Sodium, Magnésium, et Carbonates décroissent au cours des crues de fin de saison, alors qu'ils varient très peu en début. La concentration de Sodium croît en fonction du temps, tandis que celle de Calcium décroît avec le débit sans influence du facteur temps.

Le pH oscille autour de 6,9 mais peut descendre en crue jusqu'à 6,3.

Le tableau suivant donne un aperçu des concentrations des deux éléments, en régime normal, et en fortes crues durant la saison des pluies.

Eléments dissous	C_n g/m ³	C_{max} g/m ³
C_1	2,5	3,8
SO_4	0	17
Ca	16	8
Mg	6,8	3,2
Na	4,3	1,8
K	0,6-1,6	1,2
HCO_3	92	44

5. CONCLUSION

Une étude de ce type, pour être menée à bien, nécessite des délais beaucoup plus longs que ceux accordés par cette convention. L'extrapolation des phénomènes hydrologiques est toujours extrêmement délicate.

Les valeurs estimées, particulièrement celles du volume garanti, sont correctes autant que faire se peut à partir d'une si faible masse de données, mais les bonnes conditions de l'étude comparative, et le caractère assez exceptionnel des années de référence, permettent de lui accorder une crédibilité acceptable.

A N N E X E

Bassin Versant de la KOZA
Relevés journaliers de précipitations (en mm.)
Juillet 1971

J	1	2	Pluviomètres		n°	5	6	7	8
21	30,0	57,5	51,5	51,0	49,3	36,0	52,5	29,5	
23	28,7	21,2	26,9	30,9	33,5	28,0	31,7	19,6	
24	2,2	5,5	6,0	3,2	2,5	2,8	2,9	1,8	
25	6,3	2,5	4,4	2,6	3,9	5,5	3,1	8,4	
28		3,2							
29	19,4	10,5	14,0	11,1	15,5	25,5	12,7	17,7	
30	37,6	28,8	31,0	30,2	31,0	33,0	31,3	40,3	
31	0,6							0,7	
T	124,8	129,2	133,8	129,0	135,7	130,8	134,2	118,0	

Août 1971

J	1	2	Pluviomètres		n°	5	6	7	8
2	7,6	9,3	10,6	20,3	11,5	14,0	15,4	4,2	
3	7,4	8,0	6,7	6,0	14,9	14,7	8,2	2,4	
6	8,5	6,5	11,9	11,6	11,2	3,9	11,3	8,3	
7	28,7	28,5	39,0	45,5	49,5	45,5	45,8	28,5	
8	1,7			0,5	0,5	3,3	0,6	3,1	
9	3,5	9,2	3,5	3,1	3,4	3,0	3,5	3,5	
10	6,7	19,4	17,4	42,2	33,0	31,1	38,1	7,6	
11	1,7	1,5	1,7	2,0	5,0	4,9	2,5	2,7	
12	5,0	4,4	4,8	4,4	4,7	4,8	4,8	5,5	
13	75,2	94,1	62,4	49,6	44,3	38,5	40,3	61,3	
14	0,3	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	2,7	
15	1,6	8,0	3,0	1,2	1,4	7,0	1,7	0,8	
16	26,1	31,8	18,6	16,3	11,6	12,4	12,4	40,3	
17	18,0	11,8	11,1	23,1	23,5	16,8	11,3	11,4	
18	7,3	12,0	16,4	8,5	15,7	15,2	19,5	6,0	
19	47,4	48,1	46,4	38,6	33,7	30,0	33,4	48,7	
21				1,1	1,4	1,2	2,5	0,2	
23	3,1							1,4	
24	2,2	6,6	1,1	1,7	6,0	5,2	3,5	4,9	
25	5,5	7,0	7,0	3,5	6,1	6,0	3,9	4,7	
26	10,7	18,6	12,0	27,8	15,1	19,5	16,4	7,3	
29	12,1	10,6	9,0	16,0	10,3	7,7	14,3	12,1	
30								0,1	
31	0,1			9,2	32,7	28,9	17,4	2,3	
T	280,4	335,6	282,7	332,5	335,8	315,8	307,1	270,4	

Bassin Versant de la KOZA

Relevés journaliers de précipitations (en mm)

Septembre 1971

J	Pluviomètres				n°			
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	2,4		0,2	0,6	0,8	0,5	0,6	6,0
3	10,3	6,1	7,9	4,1	2,7	3,0	3,7	4,6
4	12,5	4,9	6,0	3,6	4,6	5,0	3,7	14,6
5	4,9	10,6	6,8	15,0	18,8	11,5	16,0	3,8
6	5,5	5,0	14,1	7,5	12,9	8,7	9,0	7,5
7	24,6	33,0	27,1	36,5	34,0	12,6	32,6	31,5
8	6,0	11,1	13,3	11,5	14,2	18,5	12,8	7,0
9	5,0							7,5
11	51,5	38,7	44,5	33,2	32,6	33,6	24,7	50,8
12	0,6	0,4	0,6	1,5	1,2	1,0	2,0	0,4
14	8,2	9,8	10,7	12,5	15,3	16,7	14,2	7,0
15	16,1	8,5	7,2	4,7	2,9	7,0	7,0	14,5
16	2,0			2,0				1,9
17	17,1	11,2	16,8	21,1	23,5	25,5	21,9	15,9
19	12,0	10,5	17,1	14,8	11,3	8,7	12,2	10,1
21	3,2	4,1	11,2	11,3	5,9	3,5	9,7	0,9
22	4,5	1,5	7,3	7,1	11,3	6,3	8,2	2,4
23	17,2	5,8	5,9	4,1	5,3	4,2	4,6	10,7
25	4,0	11,4	11,0	1,5	6,0	4,8	7,0	5,6
26	24,4	2,5	7,2	5,8	4,3	3,0	1,0	25,0
28	14,3	8,3	10,3	5,9	5,0	5,0	6,7	14,2
29	3,5	2,4	4,8	4,5	10,4	7,6	5,3	3,0
30	29,3	25,3	31,3	28,9	8,2		24,2	36,0
T	279,1	211,1	261,3	237,7	231,2	186,7	227,1	280,9

Bassin Versant de la KOZA

Relevés journaliers de précipitations (en mm)

Octobre 1971

Pluviomètres n°								
J	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,2	14						0,3
4	13,8	14,8	9,2	10,2	14,2	10,9	8,0	14,6
5			0,2	1,5	6,2	7,1	1,5	
7	4,5	4,7	3,1	0,4	0,8	0,8	0,7	4,0
12	17,9	11,7	15,2	19,0	18,0	18,4	22,3	18,8
13								0,9
22	5,3	0,4	2,5	2,2	2,9	0,1		
T	41,7	31,6	30,2	33,3	42,1	37,3	32,5	38,6

Novembre 1971

Pas de pluie								
--------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Décembre 1971

Pluviomètres n°								
J	1	2	3	4	5	6	7	8
10	14,0	27,2	17,0	14,0	9,0	8,5	14,6	
T	14,0	27,2	17,0	14,0	9,0	8,5	14,6	

KOZA à KPADAYO

Débits moyens journaliers (en m³/s)1971

Jours	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Novembre	Déc.
1		0,718	0,541	0,802	0,056	0,032
2		0,708	0,427	0,489	0,056	0,032
3		0,968	0,437	0,416	0,064	0,032
4		0,750	0,416	0,520	0,056	0,032
5		0,510	0,687	0,416	0,056	0,032
6						
7		0,541	0,739	0,333	0,064	0,032
8		1,250	1,895	0,322	0,064	0,032
9		2,468	1,343	0,302	0,064	0,032
10		0,906	1,239	0,229	0,064	0,028
11		2,218	0,822	0,208	0,056	0,028
12						
13		1,281	2,083	0,197	0,056	0,080
14		0,875	1,416	0,229	0,048	0,056
15		4,270	0,927	0,427	0,048	0,040
16		2,229	0,791	0,229	0,048	0,028
17		1,145	1,083	0,177	0,048	0,024
18						
19		1,531	0,802	0,166	0,040	0,022
20		1,604	1,489	0,145	0,040	0,020
21		1,958	0,864	0,156	0,048	0,018
22		3,739	0,916	0,135	0,048	0,018
23		2,833	0,781	0,140	0,048	0,016
24						
25	2,927	1,281	0,760	0,128	0,040	0,014
26	1,031	0,947	0,604	0,128	0,040	0,014
27	1,854	0,760	0,645	0,140	0,032	0,014
28	1,218	0,750	0,572	0,104	0,032	0,014
29	0,864	0,677	0,427	0,096	0,032	0,014
30						
31	0,666	0,947	0,760	0,088	0,032	0,014
	0,489	0,864	0,458	0,080	0,040	0,014
	0,395	0,604	0,406	0,072	0,040	0,014
	0,739	0,687	0,562	0,072	0,040	0,014
	2,177	0,635	1,937	0,064	0,040	0,014
	1,406	0,916		0,064		0,014
Moy.		1,341	0,894	0,228	0,048	0,025

Bassin Versant de la KOZA à KPADAYO

Liste des Jaugeages

N°	Date	é ^H chelle	en m ³ /s	N°	Date	é ^H chelle	en m ³ /s
1	21/07/71	1,44- 1,41	3,124	23	19/08/71	1,78- 1,79	10,440
2	21/07/71	1,38- 1,35	2,420	24	20/08/71	1,69- 1,64	6,88
3	21/07/71	1,31- 1,25	2,404	25	24/08/71	0,74	0,720
4	21/07/71	1,16	1,722	26	28/08/71	0,69	0,600
5	21/07/71	1,31	2,632	27	31/08/71	1,13- 1,06	1,570
6	22/07/71	0,83	0,910	28	7/09/71	1,55- 1,51	3,550
7	23/07/71	0,73	0,749	29	7/09/71	1,50- 1,46	3,220
8	23/07/71	0,83- 0,80	0,923	30	8/09/71	0,98- 0,97	1,420
9	24/07/71	0,99- 0,98	1,370	31	13/09/71	0,84	1,080
10	26/07/71	0,75	0,722	32	17/09/71	1,28- 1,25	2,420
11	26/07/71	0,66	0,590	33	19/09/71	0,73	0,700
12	27/07/71	0,62	0,573	34	26/09/71	0,89- 0,88	1,090
13	27/07/71	0,58	0,405	35	1/10/71	0,81	0,984
14	29/07/71	0,54	0,397	36	2/10/71	0,66	0,682
15	31/07/71	1,05	1,472	37	3/10/71	0,60	0,560
16	6/08/71	0,59	0,487	38	4/10/71	0,57	0,500
17	8/08/71	1,21- 1,18	2,202	39	16/10/71	0,46	0,171
18	11/08/71	1,01- 1,00	1,428	40	16/10/71	0,44	0,148
19	13/08/71	1,88- 1,81	12,140	41	19/10/71	0,43	0,138
20	13/08/71	1,79- 1,75	9,56	42	19/10/71	0,41	0,125
21	14/08/71	1,30	2,720	43	20/10/71	0,42- 0,43	0,133
22	15/08/71	0,92	1,330	44	9/12/71	0,30	0,023
				45	29/12/71	0,25	0,011